

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2013

Petr Tobola

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského
inženýrství

Teplotní závislost nejistoty měření u multimetrů
Temperature Dependence of Measurement
Uncertainty of Multimeters

2013

Petr Tobola

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra kybernetiky a biomedicínského inženýrství

Zadání bakalářské práce

Student: **Petr Tobola**
Studijní program: B2649 Elektrotechnika
Studijní obor: 2601R004 Měřicí a řídicí technika
Téma: Teplotní závislost nejistoty měření u multimetrů
Temperature Dependence of Measurement Uncertainty of Multimeters

Zásady pro vypracování:

Cílem bakalářské práce je zjištění teplotní závislosti nejistoty při měření napětí multimetrem.

Zásady pro vypracování:

1. Výpočet nejistoty dle ČSN EN 60 359 Elektrická a elektronická měřicí zařízení - vyjadřování vlastností.
2. Vztahné podmínky pro měřicí přístroje.
3. Tvorba měřicího software pro dlouhodobá měření pomocí multimetru vybaveného komunikačním rozhraním.
4. Zjištění teplotní závislosti nejistoty měření napětí multimetrem na několika vybraných přístrojích.
5. Zhodnocení výsledků měření.

Seznam doporučené odborné literatury:

- [1] KOVAL, Ludvík. *Nejistota měření*. Ostrava, 2012. Sylaby do předmětu Elektrická měření. 12 s.
- [2] KOVAL, Ludvík. *Použití přístrojových driverů*. Ostrava, 2012. Sylaby do předmětu Elektrická měření. 5 s.
- [3] ŽÍDEK, Jan. *Virtuální instrumentace na bázi grafického programování*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Fakulta elektrotechniky a informatiky, 2003. 21 s. ISBN 80-248-0298-8.
- [4] VLACH, Jaroslav, Josef HAVLÍČEK a Martin VLACH. *Začínáme s LabVIEW*. Praha : BEN - technická literatura, 2008. 248 s. ISBN 978-80-7300-245-9.
- [5] AGILENT. *Agilent 34401A users manual*. [s.l]: Agilent, c2012.
- [6] Literatura dle doporučení vedoucího BP.

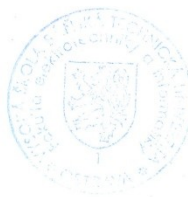
Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Ludvík Koval, Ph.D.**

Datum zadání: 16.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

doc. Ing. Jiří Koziolek, Ph.D.
vedoucí katedry



prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.
děkan fakulty

Poděkování:

Děkuji vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Ludvíku Kovalovi, Ph.D. za odbornou pomoc a užitečné rady při zpracování bakalářské práce.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

V Ostravě dne: 6.5.2013

Podpis: 

Abstrakt:

Cílem této práce je zjištění nejistoty měření za pomoci několika vybraných multimetrů. Jednotlivé závislosti, obsažené v práci, popisují chování multimetrů při měření DC napětí za působení různých teplot dosažených prostřednictvím teplotního boxu. Součástí práce je rovněž tvorba měřicí aplikace pro multimetry vybaveny komunikačním rozhraním.

Klíčová slova:

LabVIEW, Nejistota měření, DMM, Teplota, Rozhraní GPIB, Termočlánek

Abstract:

Target of this thesis is to determine the measurement uncertainty of several selected multimeters. Individual dependence, dealt with in the work, describes the behavior of multimeters to measure DC voltage for the operation at various temperatures achieved via the temperature box. The work also focuses on creating applications for measuring multimeters equipped with a communication interface.

Keywords:

LabVIEW, Uncertainty of measurement, DMM, Temperature, GPIB interface, Thermocouple

Seznam použitých symbolů a zkratk:

A/D, D/A – analogové digitální, digitálně analogový převodník

DAQ – data acquisition - systém pro sběr dat

DC – stejnosměrné napětí

DMM – digital multimeter - číslicový multimetr

Ethernet – standard počítačových sítí

FireWire – sériová sběrnice

GPIOB – general purpose interface bus - rozhraní měřících přístrojů

LabVIEW - laboratory virtual instrument engineering workbench – vývojové prostředí

NI – National Instruments

PC – personal computer - osobní počítač

PCI, PCIexpress – počítačová rozhraní pro připojení rozšiřujících karet

PCMCIA – rozhraní pro připojení rozšiřujících karet charakteristické pro notebooky

RAM – random access memory - operační paměť

RS232 – komunikační rozhraní

TTL/IO – tranzistorové tranzistorová logika/vstup - výstup

USB – universal serial bus - univerzální sériová sběrnice

VI – virtual instrument – virtuální měřicí přístroj

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Základní pojmy	2
2.1. Nejistota měření	2
2.2. Elektrické napětí	3
2.3. Teplota	3
2.3.1. Prostředky pro snímání teploty	4
2.3.2. Rozdělení snímačů teploty	5
3. Multimetry	6
3.1. Číslicové multimetry	6
3.1.1. Popis přesnosti DMM	8
4. Programové prostředí LabVIEW	9
4.1. Čelní panel	9
4.2. Blokový diagram.....	10
5. Systém sběru dat (DAQ)	11
6. Realizace práce	12
6.1. Zdroj referenčního napětí.....	12
6.2. Volba teplotního snímače.....	12
6.3. Systém pro transformaci a přenos signálu	13
6.4. Popis měření a měřicího prostředí.....	13
6.5. Návrh měřicího software.....	14
6.5.1. Přístroje bez komunikačního rozhraní GPIB	14
6.5.2. Přístroje s komunikačním rozhraním GPIB	15
7. Testované měřicí přístroje.....	18
7.1. Metrix MX53	18
7.2. Agilent 1253B	19
7.3. Metex 4650CR	21
7.4. Mastech MY68.....	22
7.5. Agilent 34401A.....	24
7.6. Srovnání	26
8. Závěr	27

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	28
SEZNAM PŘÍLOH	30

1. Úvod

Tato práce je zaměřena na problematiku nejistot, resp. chyb měření v závislosti na teplotě. Tento jev je zkoumán prostřednictvím několika vybraných měřících přístrojů (multimetrů), které jsou připojeny na zdroj stejnosměrného napětí. Práce se dále zabývá tvorbou měřicí aplikace pro měřicí přístroje vybavené komunikačním rozhraním tak, aby bylo možno naměřená data dále zpracovat prostřednictvím PC.

První část práce se zaměřuje zejména na teoretický rozbor jednotlivých prvků a veličin vyskytujících se v měření nejistot. Patří mezi ně především popis samotné nejistoty měření, teploty a možnosti jejího snímání, či princip funkce číslicových měřících přístrojů.

Druhá část se zabývá samotným návrhem a realizací práce. Je v ní uveden především návrh jednotlivých komponent měření, mezi které patří zdroj stejnosměrného napětí, snímač vnitřní teploty přístroje a jeho převodník pro komunikaci s PC. V této části je dále uveden popis měřicího prostředí, samotného měření a především navržené měřicí aplikace pro přístroje vybaveny komunikačním rozhraním. Návrh aplikace je proveden v programovacím prostředí LabVIEW a prostřednictvím čelního panelu umožňuje sledovat měřená data, nastavovat časování měření a naměřená data následně ukládat do souboru. V neposlední řadě je v této části obsažena specifikace jednotlivých měřících přístrojů, společně s výslednou závislostí měření a finální porovnání chování jednotlivých přístrojů v závislosti na jejich vnitřní teplotě.

2. Základní pojmy

2.1. Nejistota měření

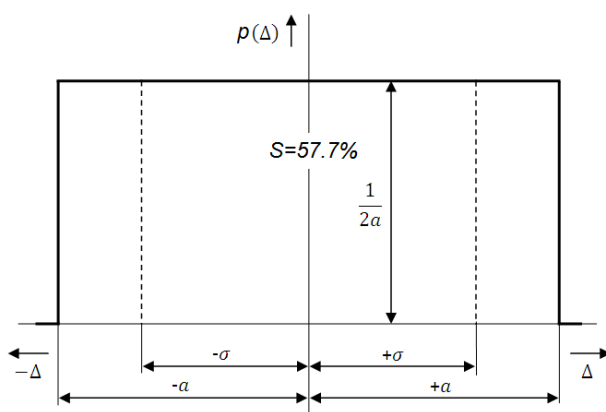
Je reprezentována jako parametr přiřazený k výsledku měření, představující rozptyl naměřených hodnot. V praxi to představuje vyhodnocení výsledků na základě vymezení tolerančního pole odchylky. Společně s výsledkem se pak udává pravděpodobnost, s jakou se skutečná hodnota v daném tolerančním poli nachází. Na základě toho se zavádí pojem *standardní nejistota*, která představuje prvek vymezující limitní meze odchylek od naměřeného výsledku a značí se symbolem u (uncertainty). Podrobným popisem nejistoty se zabývá norma ČSN EN 60 359 – Elektrická a elektronická měřicí zařízení – vyjadřování vlastností. Mezi základní druhy nejistot patří:

Nejistota typu A (u_A)

Jednotlivé typy nejistot lze rozdělit podle vlivů, které zachycují. V případě standardní nejistoty typu A se jedná o vyhodnocení na principu statické analýzy. To je prováděno z co možná nejvíce opakovaně naměřených dat. Celý tento proces vede k zachycení náhodně působících vlivů, jejichž příčiny jsou neznámé. Samotné vyhodnocení naměřených dat je založeno na střední hodnotě (aritmetickém průměru) a výběrové odchylce.

Nejistota typu B (u_B)

Je založena stejně jako nejistota typu A na statistickém zpracování, liší se ovšem svým původem. Ten je v systematické odchylce, která je udávána výrobcem. Mezi vlivy určující systematickou odchylku patří např. vliv teploty, měnící se parametry součástek vlivem opotřebení, či offsety.



Obr. 1: Rovnoměrné rozdělení hustoty pravděpodobnosti.

- **Nejistota kombinovaná typu C (u_C)**

Představuje geometrický průměr standardní nejistoty typu A a standardní nejistoty typu B, který je dán vztahem:

$$u_C = \sqrt{u_A^2 + u_B^2} \quad (1)$$

u_C	standardní kombinovaná nejistota
u_A	standardní nejistota typu A
u_B	standardní nejistota typu B ^[1]

2.2. Elektrické napětí

Elektrický potenciál představuje skalární veličinu. Ten je dán podílem práce W , potřebné k přenesení náboje Q , z bodu vztažného do bodu uvažovaného. Z toho vyplývá, že napětí je rozdíl potenciálů. V případě nulového rozdílu potenciálů je napětí rovno podílu práce a náboje. V opačném případě, tj. při oddalování nábojů a nenulovém potenciálu elektrické napětí vzniká. Označuje se písmenem U a jeho jednotkou elektrického napětí je 1 volt.

Definice voltu:

Jeden volt se rovná takovému napětí, které vznikne mezi konci vodiče, do kterého konstantní elektrický proud o velikosti 1 A dodává elektrický výkon velikosti 1 W. Vodič má pak hodnotu 1Ω .^[2]

2.3. Teplota

Teplota je fyzikální veličina, díky které lze vyjádřit míru tepelného stavu tělesa. Za teplo lze považovat formu energie, jež má svůj původ v neuspořádaném pohybu částic. Z toho důvodu je v technických disciplínách častěji využíván pojem tepelná energie, resp. tepelné množství.

Za účelem stanovení teploty se využívají závislosti fyzikálních veličin na teplotě. Podmínkou stanovení teploty je souvislost mezi teplotou a určitou veličinou, kterou lze matematicky vyjádřit tak, aby výsledná odchylka teplotní stupnice byla minimální. Samotné měření následně spočívá v porovnání daného tělesa s definovanou stupnicí. K tomuto účelu jsou stanoveny dvě stupnice:

Termodynamická absolutní (Kelvinova) teplotní stupnice

Její teplotní stavy jsou označovány jako Kelvíny a je dána dvěma pevnými body. První bod, nazýván taky jako nulový bod (0K), je bodem absolutní nulové teploty a představuje stav, při kterém dochází k ustálení termického pohybu elementárních částic.

V případě druhého (trojného) bodu, se absolutní stupnice dostává do rovnovážného stavu všech tří skupenství (led, voda, sytá vodní pára). Tento stav je reprezentován hodnotou $T = 273,16 \text{ K}$ a tlakem $p = 609,8 \text{ Pa}$.

Mezinárodní teplotní stupnice (Celsiova)

Je s postupným doplňováním upravováním využívána od roku 1927. Poslední označení nese název ITS90 (The International Temperature Scale of 1990). Toto označení rovněž definuje 17 pevných bodů, které odpovídají rovnovážným stavům mezi fázemi a body tání, resp. tuhnutí.

Základní jednotkou je tzv. Celsiův stupeň, označován symbolem $^{\circ}\text{C}$ a definován jako 100. Díl rozdílu teplot mezi teplotou varu a tuhnutí vody při atmosférickém tlaku 101,32472 kPa. Ve srovnání s Kelvinovou teplotní stupnicí je velikost obou stupnic shodná. Z důvodu rozdílných hodnot bodu tání ledu obou stupnic je souvislost mezi nimi dána vztahem:

$$T = \vartheta + 273,15 \quad (\text{K}), ({}^{\circ}\text{C}), ({}^{\circ}\text{C}) \quad (2)$$

V anglosaských zemích je využíváno stupnice Fahrenheita, která je značena symbolem $^{\circ}\text{F}$. Teplota 0°C v této stupnici odpovídá 32°F a teplota 100°C hodnotě 212°F .

2.3.1. Prostředky pro snímání teploty

Snímače (senzory)

Snímače (senzory) jsou základní prvky informující o stavu a činnosti technického zařízení, které převádějí zvolenou technickou veličinu na vstupu na tzv. měronosnou veličinu na svém výstupu. Díky tomu tvoří tzv. vazební členy mezi technickým zařízením a řídicím systémem. Snímaná veličina na vstupu daného snímače může být měřena buď přímo, nebo nepřímo. V prvním případě je měření prováděno na základě její definice (např. měření tlaku), v druhém případě měření se vychází ze známé funkční závislosti měřené veličiny na jiné měřené veličině. Účelem této transformace je následné snazší zpracování v porovnání s původní měřenou veličinou. Pro úpravu signálu se nejčastěji používají veličiny elektrické (napětí, proud, odpor), méně pak veličiny mechanické (pohyb, síla). Na snímače jsou kladeny tyto požadavky:

- Jednoznačná závislost výstupní veličiny na veličině vstupní
- Přesnost a časová nezávislost parametru senzoru
- Vhodný tvar statické charakteristiky (nejlépe lineární)
- Optimální dynamické vlastnosti (časová konstanta, přenos prostředku, tvar frekvenčních charakteristik, šířka frekvenčního přenášeného pásma)
- Minimální závislost na parazitních vlivech (teplota, tlak, vlhkost, chvění, vnější magnetická pole)
- Minimální zatížení měřeného objektu
- Jednoduchá konstrukce a dostupná cena
- Jednoduchá a levná údržba

2.3.2. Rozdělení snímačů teploty

Senzory pro dotykové měření

- elektrické
 - odporové kovové
 - odporové polovodičové
 - termoelektrické
 - polovodičové s PN přechodem (diodové, tranzistorové)
- dilatační
 - kovové
 - kapalinové
- tlakové
 - kapalinové
 - parní
 - plynové
- speciální

Senzory pro bezdotykové měření

- monochromatické pyrometry
- pásmové pyrometry
- radiační pyrometry^[3]

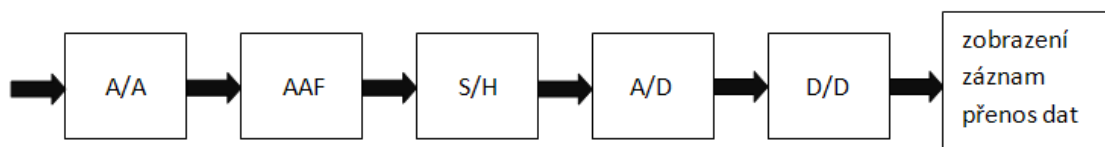
3. Multimetry

Představují multifunkční měřicí přístroje využívající se zejména v odvětví elektrotechniky a elektroniky. Zpravidla každý multimetr nabízí základní funkce, mezi které patří měření jak stejnosměrných, tak střídavých veličin v podobě napětí a proudu. Dále pak rezistance, parametry součástek, test diod, měření teploty, či jiné funkce v závislosti na kvalitě a možnostech měřicího přístroje. Jednotlivá měření je rovněž možno provádět na příslušném rozsahu podle velikosti měřené veličiny tak, aby bylo dosaženo co možná nejpřesnějších výsledků.

Z konstrukčního hlediska se multimetry dělí na analogové a digitální (číslicové). Rozdělení z hlediska přenositelnosti se dělí na kapesní a stolní (popř. laboratorní). Analogové multimetry, i přes velký rozmach digitálních multimetrů zejména z hlediska univerzálnosti a cenové dostupnosti, si svoji pozici na trhu stále drží. Je to hlavně díky aplikacím, kde je použití analogového přístroje oproti digitálnímu výhodnější. Takové aplikace jsou charakteristické zejména plynulým poklesem, nebo nárůstem měřené veličiny. Jelikož je k řešení této práce využito pouze digitálních multimetrů, nebude se již tato práce podrobným popisem analogových multimetrů zabývat.

3.1. Číslicové multimetry

Někdy též označovány digitální multimetry, nebo jen DMM. Jsou přístroje umožňující měřit více analogových veličin najednou. Princip spočívá v převedení měřené veličiny na analogový napěťový signál, který je následně digitalizován a předán k dalšímu zpracování. Celý tento proces popisuje blokové schéma na obr.



Obr. 2: Blokové schéma číslicového multimetru.

A/A – Analogově-analogový převodník

Tvoří vstupní prvek celého řetězce, do kterého je přiváděna měřená veličina. Ta je následně převedena na veličinu jinou, zpravidla na napětí. Funkce A/A zároveň spočívá v zesílení vstupního signálu na příslušnou úroveň, za účelem dalšího zpracování. To je prováděno prostřednictvím operačního zesilovače v zapojení rozdílového, nebo přístrojového operačního zesilovače.

AAF – Antialiasingový filtr

Zajišťuje převod z analogové na digitální veličinu za pomoci daného opakovacího kmitočtu. Dle Shannon - Kotelnikova teorému musí být zajištěna podmínka, aby vzorkovací kmitočet f_{vz} byl nejméně dvojnásobkem maximální frekvence měřeného signálu f_{max} . V opačném případě nastává tzv. aliasing efekt (roztřepení), což vede díky nedostatečnému vzorkování ke zcela chybné informaci a tím i naprosto jinému výslednému signálu. Z důvodů ochrany před signály s kmitočtem vyšším než polovina kmitočtu vzorkování, které by se následně mohly dostat do AD převodníku, se do obvodu přidává antialiasingový filtr. Ten je možno realizovat dolní propustí až desátého řádu prostřednictvím jak aktivních filtrů, tak filtry se spínanými kondenzátory.

S/H(sample/hold) – Vzorkovací obvod

Slouží k odebrání jednotlivých vzorků spojitého signálu, které pak podléhají procesu kvantování. Společně s antialiasingovým filtrem tak provádí finální úpravu signálu pro A/D převodník. Pro následnou transformaci signálu je ovšem důležité, aby se vstupní hodnota měřené veličiny neměnila po celou dobu převodu. To je rovněž úkolem vzorkovacího obvodu, který zajišťuje změření veličiny a její stálost po potřebnou dobu.

A/D – Analogově-digitální převodník

Převádí signál ze vzorkovacího obvodu na digitální hodnotu. Převod je prováděn integrační metodou, prostřednictvím 8, 12, nebo 16bitovým převodníkem. Tato metoda je vhodná zejména díky účinnému potlačení časově proměnného rušivého napětí připojenému ke stejnosměrnému napětí. Výsledkem převodu pomocí této metody je střední hodnota napětí, přivedeného na vstupu během doby integrace. V praxi je nejčastěji využívání metody dvojí integrace, která je oproti výše uvedené integrační metody zdokonalena o funkci automatického nulování.

D/D – Digitálně-digitální převod

Nachází se v hlavním řídicím bloku přístroje, jehož úkolem je řídit chování celého číslicového měřicího řetězce. Slouží ke zpracování vstupní digitální hodnoty tak, aby byla vhodná k zobrazení, zaznamenání, či pro přenos nadřazenému systému (v případě multimetru vybaveného komunikačním rozhraním). Blok dále umožňuje výpočet a vyhodnocení minima, maxima, průměrné hodnoty, popř. jiných statistických výpočtů. Řídicí prvek přístroje, ve kterém se D/D převod nachází, je rovněž schopen (v závislosti na kvalitě přístroje) automaticky přepínat rozsahy, vyhodnocovat připojené součástky dle jejich charakteru a následně přepnout vstupní obvod do správného zapojení pro dané měření.

Zobrazení, záznam, přenos dat

Zobrazovací jednotky, jak kapesních, tak stolních multimetrů, představují ve většině LCD displeje podsvíceny dvěma či více barvami v závislosti na ceně přístroje. Jejich hlavním úkolem je zobrazení hodnoty měřené veličiny. S tím souvisí i přesnost, resp. počet zobrazovacích míst. U nejlevnějších DMM se lze setkat s měřením a zobrazením výsledku na 3 1/2 míst (digitů). To znamená, že přístroj je schopen měřit v rozsahu 0-1999. Naproti tomu u dražších přístrojů se lze

setkat s údajem $8 \frac{1}{2}$ míst, který je schopen měřit v rozsahu 199 999 999. Společně s těmito údaji je spjatá přesnost daného přístroje, která se pohybuje na rozsahu stejnosměrného napětí od 1% až po 0,001%.

U měřicích přístrojů vybavených komunikačním rozhraním, lze naměřená data dále zpracovat, případně komunikovat s nadřazeným systémem. Mezi základní komunikační prvky patří sériová rozhraní RS232 a USB, která jsou v hojné míře využívána zejména díky své jednoduchosti. V případech nutnosti rychlejších přenosů dat se využívá rozhraní GPIB, nebo např. průmyslový Ethernet. Díky tomu lze s daty provádět celou řadu operací, mezi které patří jejich zobrazení, editace, převod či uložení do požadovaného formátu. ^[4]

3.1.1. Popis přesnosti DMM

Z teoretického hlediska je výsledná přesnost měření ovlivněna několika faktory. Patří mezi ně použité metody měření, kvalita přístrojů a vlivy okolí. S tím je spojena i tzv. odchylka měření, dříve označována jako chyba měření. Ta představuje rozdíl mezi hodnotou naměřenou a skutečnou. Z důvodu neznalosti skutečné hodnoty je uváděna v souvislosti s tímto pojmem hodnota konvenčně pravá.

Jednotlivé odchylky měření se dělí na náhodné a systematické. Do první kategorie je zahrnut soubor všech náhodných negativních vlivů. Ty působí náhodně, s libovolnou velikostí, znaménkem a jsou nepředvídatelné. Díky tomu nelze jejich vliv korigovat. Pro co nejpřesnější vyhodnocení výsledků je tak potřeba provést vícenásobné měření, kdy je následně z naměřených hodnot možno vyčíslit střední hodnotu, rozptyl, či směrodatnou odchylku. V případě systematické odchylky se jedná o vlivy působící stále stejně, a tak je vyhodnocení výsledků v porovnání z výše uvedou náhodnou odchylkou podstatně jednodušší. ^[5]

Z praktického hlediska je přesnost měřicích přístrojů spojena s pojmem accuracy. Pod tímto názvem je v technické dokumentaci daného DMM udávána přesnost prostřednictvím dvou složek. Jako příklad lze uvést přesnost přístroje s rozlišením $4 \frac{1}{2}$ digitů popsanou vztahem (3). První složka, 0,05% ze čtení, vyjadřuje nejistotu, nebo chybu, úměrnou naměřené hodnotě přístroje.

$$\pm (0,05\% \text{ ze čtení} + 3 \text{ digity}) \quad (3)$$

To znamená, že daný přístroj zobrazí naměřenou hodnotu v rozmezí $\pm 0,05\%$, resp. při naměřené hodnotě 1,000 0 V s výskytem skutečné hodnoty v pásmu od 0,999 5 V do 1,000 5 V. Druhá složka, označená výrazem 3 digity, je nezávislá na měřené hodnotě a počítá s nejméně významnou číslicí. Kombinace obou složek pak vede k rozšíření tolerančního pásma skutečné hodnoty měření na hodnoty od 0,999 2 V do 1,000 8 V. ^[5]

4. Programové prostředí LabVIEW

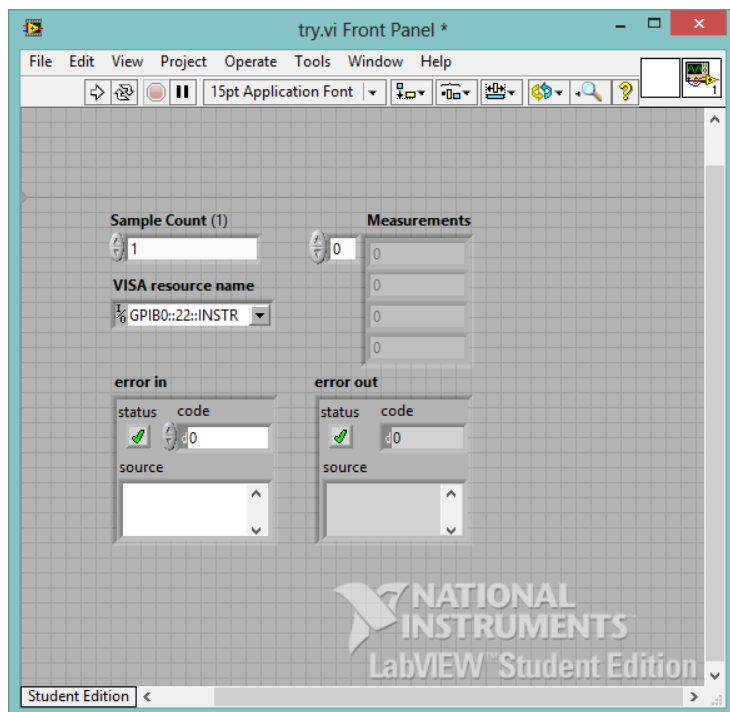
Je programové a vývojové prostředí “laboratorního pracoviště virtuální přístrojů” (z angl. Laboratory Virtual Instruments Engineering Workbench - LabVIEW). Jedná se produkt společnosti National Instruments, který se mimo jiné zabývá tvorbou a distribucí systémů v oblasti virtuální instrumentace.

Samotné prostředí LabVIEW, které je těž díky svému grafickému programovacímu jazyku nazýváno G-jazyk, slouží k programování celé škály systémů pro měření, analýzu signálů a vizualizaci. Výsledná aplikace (VI) se pak v LabVIEW skládá z čelního panelu a blokového diagramu.

Hlavním účelem této aplikace a virtuální instrumentace zároveň je především nahradit dočasně, nebo trvale prostorově, finančně a časově využití prostředků jak technických (hardware), tak programových (software). Ve výsledku to vede k možnosti rychle navrhovat a měnit konfiguraci měřicího systému, což by v případě reálných součástek bylo nemožné.

4.1. Čelní panel

Vytváří rozhraní mezi programem a uživatelem (Obr. 3). Udává nejen vzhled a chování dané aplikace, ale zároveň umožňuje uživateli díky ovládacích a indikačních prvků aplikaci řídit, měnit její parametry a získávat informace o celém systému. Jednotlivé prvky čelního panelu lze libovolně posouvat, měnit jejich velikost, či programově nastavovat.

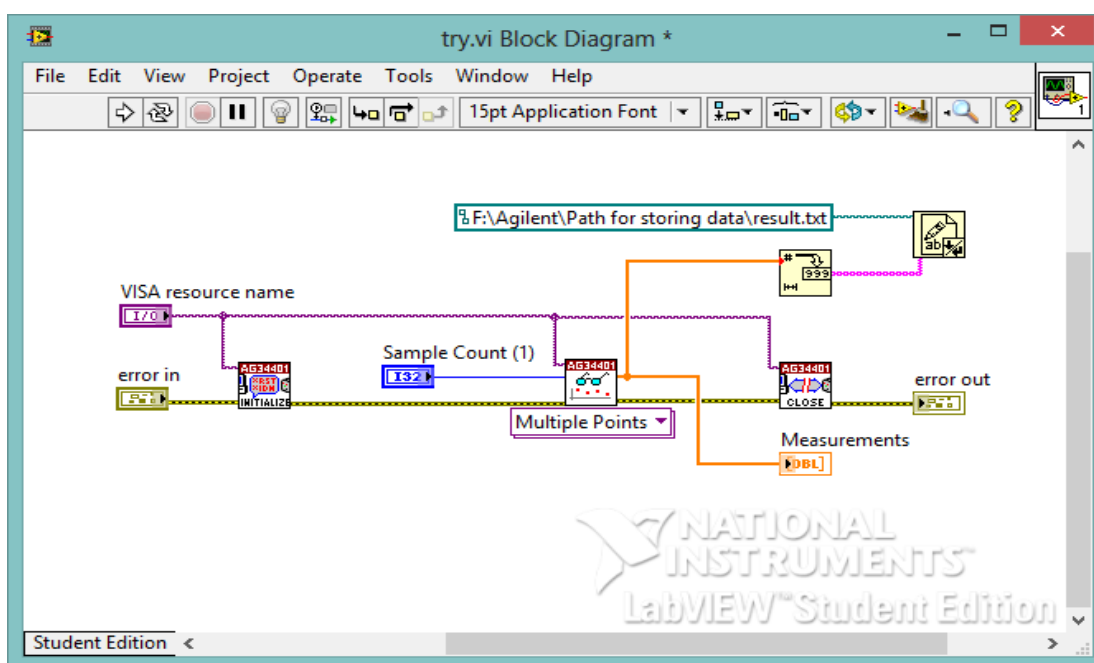


Obr. 3: Čelní panel.

Na předchozím příkladu (Obr. 3), si lze všimnout uživatelského rozhraní konkrétní aplikace, pro sběr dat z externího zařízení, připojeného prostřednictvím sběrnice GPIB. Vstupy jsou tvořeny prvky *Sample Count*, sloužící k nastavení počtu měřených vzorků, a *VISA resource name*, jenž slouží k nastavení parametrů komunikace připojeného zařízení. Na panelu jsou dále umístěny zobrazovací prvky v podobě *Measurement* a *Error cluster*, kde první z uvedených slouží k zobrazení naměřených hodnot. V druhém případě se jedná o tzv. chybový cluster a slouží k indikaci případných chyb celého procesu.

4.2. Blokový diagram

Představuje část VI, ve které uživatel definuje vlastní algoritmus pro danou úlohu. Z ukázky (Obr. 4) si lze všimnout jednotlivých bloků VI, které představují zdrojový kód G-jazyka aplikace LabVIEW.



Obr. 4: Blokový diagram.

Jelikož je blokový diagram nedílnou součástí čelního panelu, má každý prvek čelního panelu spojitost s prvkem blokového diagramu. Mimo to obsahuje blokový diagram i doplňující bloky pro daný algoritmus, kterými jsou např. bloky pro inicializaci měření, nastavení parametrů měření, převod a uložení hodnot do textového souboru, či blok ukončení celého procesu. ^[6]

5. Systém sběru dat (DAQ)

Představuje důležitý prvek virtuální instrumentace spojený se sběrem dat. Ke své činnosti pro komunikaci s PC využívá tzv. DAQ karty v interním a externím. Komunikace externích karet s měřicím prvku (snímačem) je závislá na daném prvku, v případě komunikace s počítačem je zajištěna prostřednictvím rozhraní USB, FireWire, či PCMCIA. Připojení interních karet je provedeno prostřednictvím PCI, či PCIexpress. Na rozdíl od karet externích ovšem disponují nevýhodou omezeného počtu konektorů nedostatkem místa na zadní straně PC.

V obou případech provedení se DAQ karty skládají z jednotlivých součástí. Patří mezi ně vysokorychlostní čítač, rozhraní TTL/IO, paměť RAM, A/D, D/A převodník a multiplexer. Celý tento systém je řízen prostřednictvím mikrokontroléru, jehož řídicí algoritmus představují ovládacími podprogramy.



Obr. 5: Externí DAQ zařízení společnosti National Instruments.^[7]

6. Realizace práce

6.1. Zdroj referenčního napětí

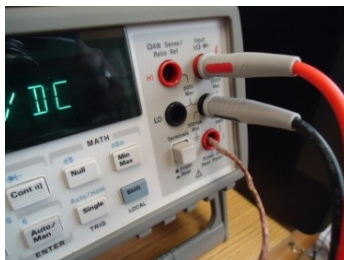
Jako zdroj referenčního byl použit alkalický článek o hodnotě výstupního stejnosměrného napětí 9V . Volba na tento zdroj el. energie padla zejména díky jeho stabilitě výstupního napětí, malými rozměry a s tím spojenou přenositelností a v neposlední řadě jeho dostupností. V praxi se lze s tímto zdrojem často setkat u menších spotřebičů, např. multimetrů.



Obr. 6: Zdroj měřeného napětí.

6.2. Volba teplotního snímače

Z důvodů zvětšení přesnosti měření padl návrh na umístění teplotního snímače přímo do testovaného měřicího přístroje. Rozebrání a implementace snímače do jednotlivých testovaných přístrojů by ovšem byla náročná operace, a tak se jako nejvhodnější způsob ukázal vložení teplotního snímače do zdířky určené pro připojení měřicího vodiče (Obr.7). To rozsah výběru vhodného snímače zejména z velikostních důvodů značně zúžilo. Mimo to bylo při výběru vhodného snímacího prvku přihlíženo na vlastnosti jako jednoznačná závislost mezi výstupní a výstupní veličinou, přesnost a časová nezávislost, či minimální závislost na parazitních vlivech. S ohledem na tyto vlastnosti a snahu o co nejjednodušší ale zároveň účinné a efektivní řešení padla volba na klasický kalibrovaný termoelektrický senzor, resp. termočlánek typu K. Funkce tohoto snímače je založena na vzniku termoelektrického napětí ve styku dvou různých kovů, resp. polovodičů, jejichž konce jsou umístěny v prostředích s různými teplotami.



Obr. 7: Umístění snímače vnitřní teploty měřicího přístroje.

6.3. Systém pro transformaci a přenos signálu

Jelikož je výstup z termoelektrického senzoru teploty spojitý, nastala potřeba daný signál převést na signál nespojitý, resp. číslicový tak, aby mohl být dále zpracován. K tomuto účelu bylo v úmyslu využít některý z dostupných A/D převodníků. Následně se ale objevila možnost využít produktu firmy National Instruments a tak podle volba na produkt USB-9162, který v podstatě představuje převodní modul, ve kterém je vložen termočlánekový modul 9211. Ten disponuje čtyřmi analogovými vstupy pro termočláanky, 24 bitovým převodníkem a provozní teplotou v rozsahu $-40^{\circ}\text{C} - 70^{\circ}\text{C}$.^{[8][9]}



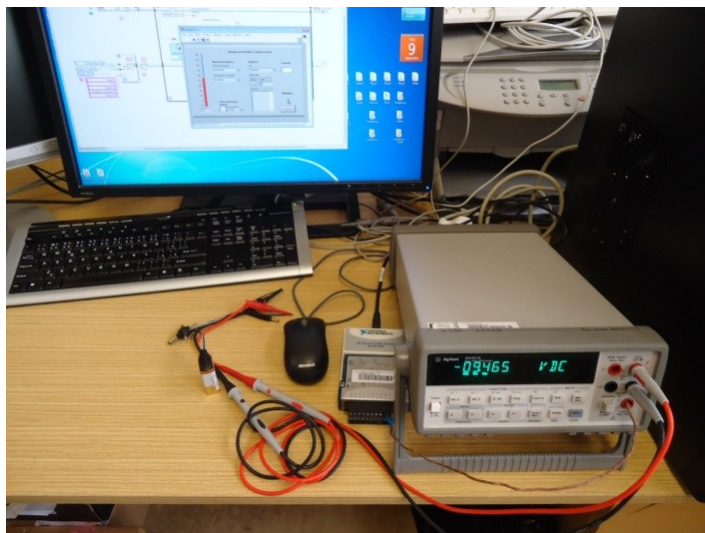
Obr. 8: Převodníkový modul s termočláankem typu K.

6.4. Popis měření a měřicího prostředí

Při výběru vhodného prostředí byl brán ohled zejména na teplotní podmínky, kterých byl schopen daný prostor dosáhnout, tj. minimální a maximální hodnoty teploty. V ideálním případě by jako druhý důležitý faktor při výběru měřicího prostředí figurovala izolační vlastnost daného měřicího prostoru. Tím by se nepochybně zvýšila efektivnost a přesnost celého měření. Toho by ovšem bylo možno dosáhnout pouze za použití speciální průhledné teplotní komory tak, aby bylo umožněno odečítat číselné údaje ze zkoumaných přístrojů bez komunikačního rozhraní.

Samotná měření byla prováděna dvěma způsoby. Jednalo se především o způsoby zahřívání, popř. ochlazování přístrojů. V prvním případě změnu vnitřní teploty přístrojů představovalo jeho postupné zahřívání, či ochlazování a průběžné odečítání údajů z daného přístroje umístěného v teplotní komoře. Druhá metoda změny vnitřní teploty měřicích přístrojů spočívala naopak v počátečním oteplení (ochlazení) a následným ochlazením (oteplením) za průběžného odečítání údajů z daného přístroje. Po zkušenostech s oběma metodami byly jejich kombinací pořízena data, která jsou uvedena v příloze a slouží jako podklad k vytvoření výsledných závislostí. Za účelem zjištění chování měřicích přístrojů v co možná nejširším teplotním pásmu hodnot, byly jednotlivé přístroje testovány až do bodu -11°C . Většina výrobců

ovšem v dokumentacích měřících přístrojů udává jako vhodné teplotní podmínky jejich užití v rozsahu hodnot 0 – 50°C v závislosti na daném přístroji. Proto byl při testování kladen důraz především na kladné teplotní pásmo, jehož horní mez ve výsledku činila hodnoty 55°C.



Obr. 9: Ukázka zapojení měřícího systému v prostředí s pokojovou teplotou.

6.5. Návrh měřícího software

K návrhu měřící aplikace bylo využito programovacího prostředí LabVIEW od společnosti National Instruments. Toto prostředí obsahuje bohatou nabídku ovládacích prvků pro číslicový multimetr Agilent 34401A. K volbě tohoto prvku virtuální instrumentace dále přispěla především možnost jeho využití v rámci školních projektů a má účast v předmětu Virtuální instrumentace I, jehož náplní je právě seznámení s programovacím prostředím LabVIEW.

6.5.1. Přístroje bez komunikačního rozhraní GPIB

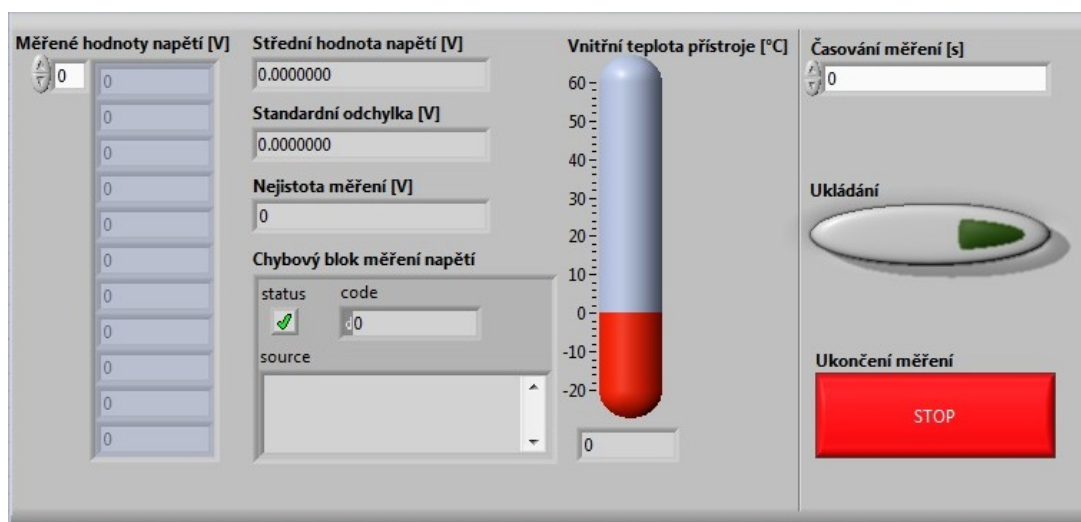
Z důvodů absence rozhraní byl sběr dat z těchto přístrojů prováděn manuálně. V praxi toto měření představovalo sledování vnitřní teploty multimetru a po dosažení její určité hodnoty odečtení údaje z měřícího přístroje a následné zaznamenání k dalšímu zpracování.

6.5.2. Přístroje s komunikačním rozhraním GPIB

V případě tohoto měření byl ve srovnání s výše uvedeným měřením přístrojů bez komunikačního rozhraní GPIB proces více automatizován.

- **Čelní panel**

Výsledná navržená aplikace je reprezentována čelním panelem (Obr.10). Ten obsahuje řadu jak číselných, tak grafických zobrazovačů měřených hodnot. Tyto prvky jsou společně s blokem zobrazujícím stav procesu měření napětí umístěny v levé části aplikace. Pravá část je naopak tvořena prvky řídicími, prostřednictvím kterých je možno nastavit časování měření, zahájit ukládání dat, či zastavit celý měřicí proces.



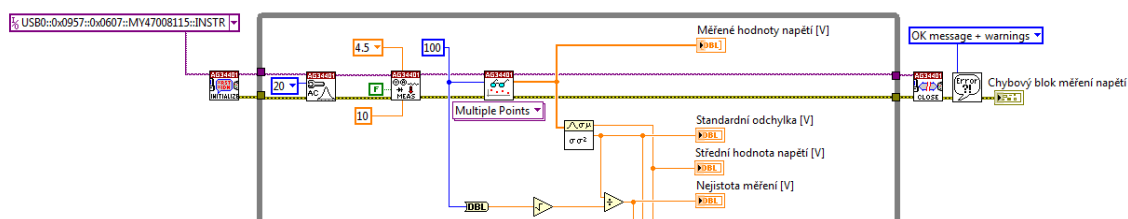
Obr. 10: Čelní panel měřicí aplikace.

- **Blokový diagram**

Zobrazuje zdrojový kód představující algoritmus, podle kterého je aplikace schopna komunikovat s měřicím přístrojem, zpracovat a zobrazit data, případně je následně uložit do textového, či tabulkového souboru. Z důvodu přehlednosti je popis této aplikace rozdělen do třech bloků:

Blok sběru a zobrazení dat z měřicího přístroje – napětí

Část sběru dat je tvořena inicializačním blokem, který určuje podmínky komunikace. Ten dále posílá data přes filtrační blok do konfiguračního bloku, kde jsou nastaveny jednotlivé parametry měření. Z toho jsou data posílány do bloku měřicího, na jehož výstupu je následně číselná hodnota měřeného napětí. Ta slouží jako zdrojový údaj pro zobrazovací část, kterou tvoří jednotlivé indikátory. Na samotném konci toku dat se nachází blok, jenž ukončuje celý proces a společně s chybovým blokem informuje, zda proběhl celý proces bez chyb.



Obr. 11: Zdrojový kód sběru a zobrazení dat – napětí.

Blok sběru a zobrazení dat z měřicího přístroje – teplota

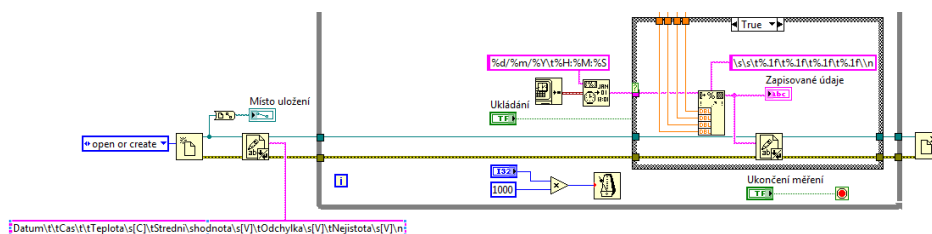
Má prakticky stejnou funkci jako výše uvedený blok. Obsahuje část pro sběr dat tvořenou expresní funkcí *DAQ Assistant*, která společně s převodníkem signálu zajišťuje získání dat a jejich následné zobrazení s tím rozdílem, že měřenou veličinou je zde teplota.



Obr. 12: Zdrojový kód sběru a zobrazení dat – teplota.

Blok ukládání naměřených dat

Je tvořen částí zdrojovou, resp. blokem pro vstup a konverzi naměřených dat a částí sloužící pro uložení naměřených dat do textového (tabulkového) souboru. První z uvedených částí je tvořena formátovacím blokem, do kterého jsou přiváděna naměřená data, která jsou následně převedena do textové podoby. Druhá část, jejíž hlavní funkcí je uložení pořízených dat, je tvořena blokem vytvoření souboru, na který navazuje již s vytvořenou cestou uložení blok zapisující hlavičku textového souboru. Následující blok slouží k zapisování naměřených dat a celý proces ukládání je završen blokem ukončovacím. Díky umístění řídicího prvku na čelním panelu aplikace lze povolovat, či zakazovat proces ukládání. To se děje prostřednictvím smyčky, která je daným přepínačem ovládána.



Obr. 13: Zdrojový kód ukládání dat.

Součástí celé této aplikace je smyčka *WHILE*, která v sobě obsažený zdrojový kód vykonává dle nastavené hodnoty časování. K ukončení této smyčky a tím i celého procesu slouží tlačítko *STOP*.

7. Testované měřicí přístroje

7.1. Metrix MX53

- Specifikace přístroje:

Rozsah displeje: 4 ½ dig.

Provozní teplota: 0°C – 60°C

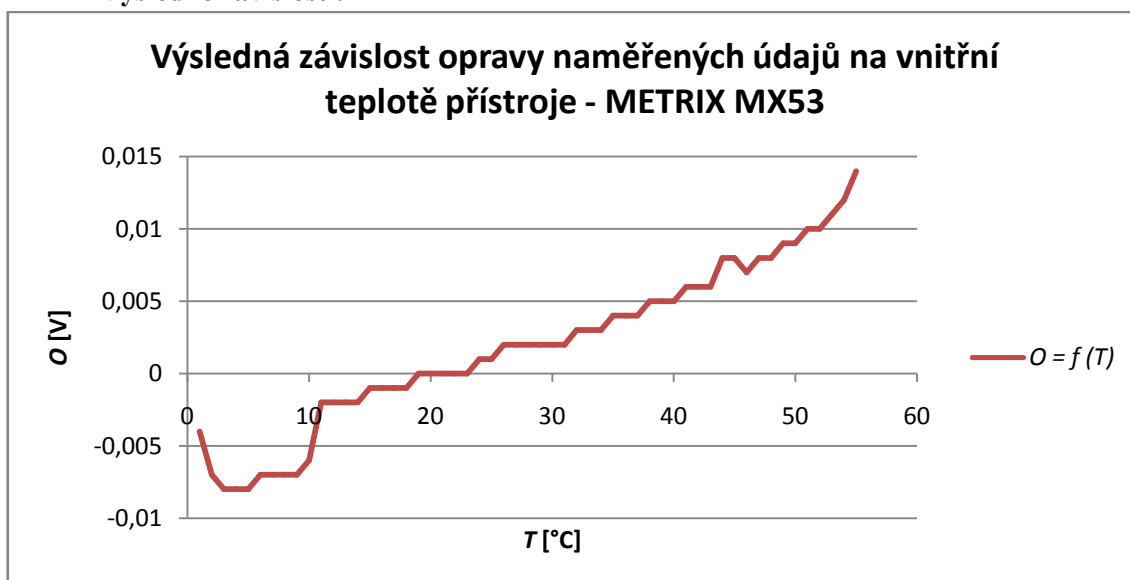
Funkce	Rozsah	Přesnost	Rozlišení
mW	500mV	0,1% + 2D	10μV
VDC	5V	0,1% + 2D	100μV
	50V	0,1% + 2D	1mV
	500V	0,2% + 2D	10mV
	1000V	0,3% + 2D	100mV

Tab. 1: Specifikace přístroje pro měření stejnosměrného napětí – Metrix MX53.^[10]

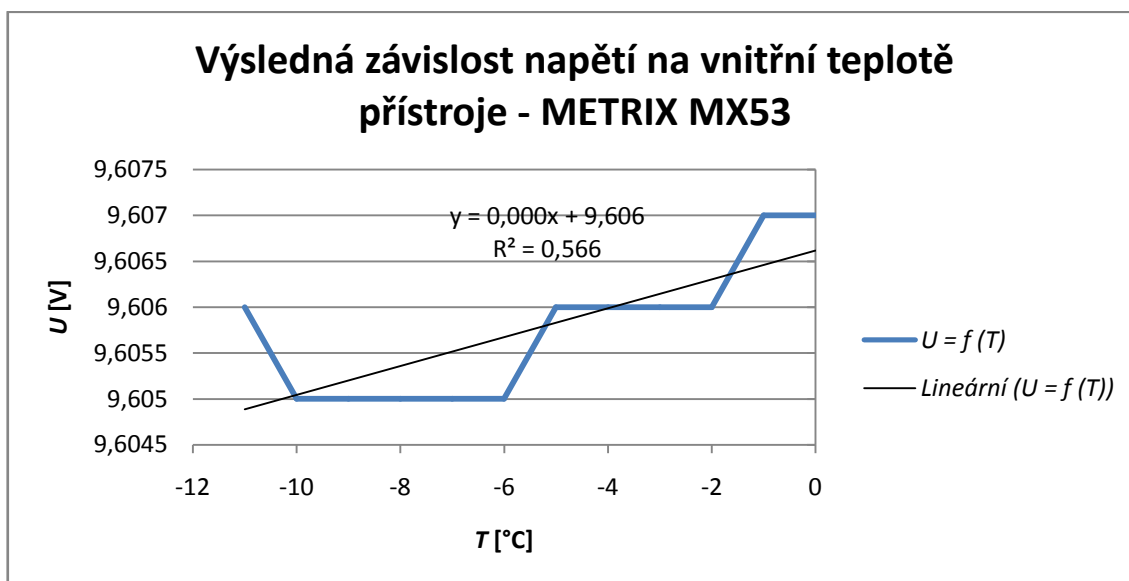


Obr. 14: Multimetr Metrix MX53.

- Výsledné závislosti:



Obr. 15: Výsledná závislost pro kladné teploty – Metrix MX53.



Obr. 16: Výsledná závislost pro záporné teploty – Metrix MX53.

7.2. Agilent 1253B

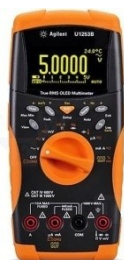
- Specifikace přístroje:**

Rozsah displeje: 4 ½ dig.

Provozní teplota: -20°C – 55°C

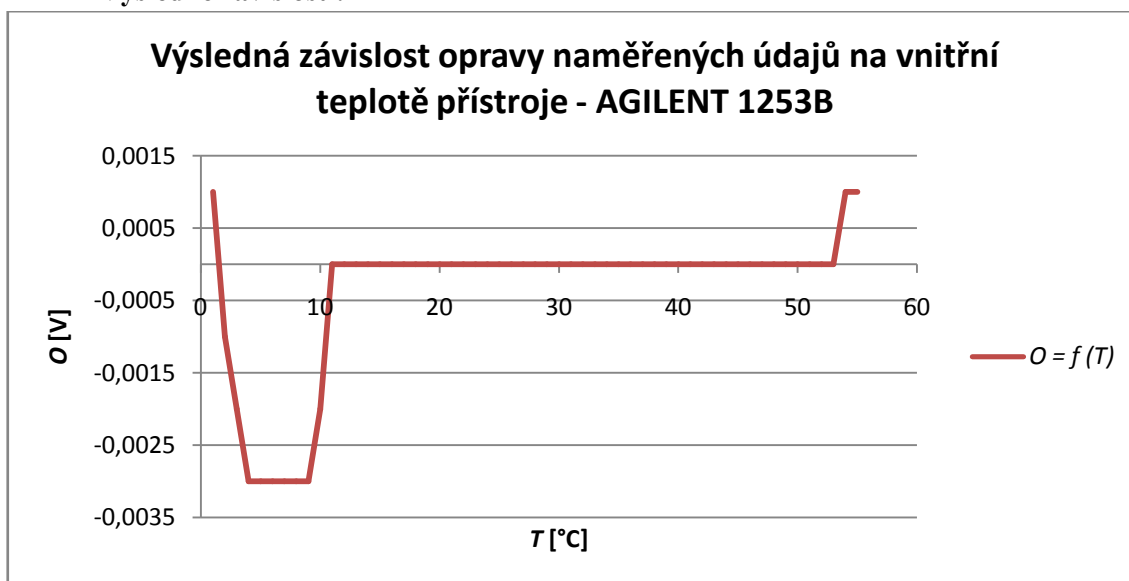
Funkce	Rozsah	Přesnost	Rozlišení
VDC	50,000mV	0,05% + 50D	0,001mV
	500,00mV	0,025% + 5D	0,01mV
	1000,0mV	0,025% + 5D	0,1mV
	5,0000V	0,025% + 5D	0,0001V
	50,000V	0,025% + 5D	0,001V
	500,00V	0,030% + 5D	0,01V
	1000,0V	0,030% + 5D	0,1V

Tab. 2: Specifikace přístroje pro měření stejnosměrného napětí – Agilent 1253B.^[11]

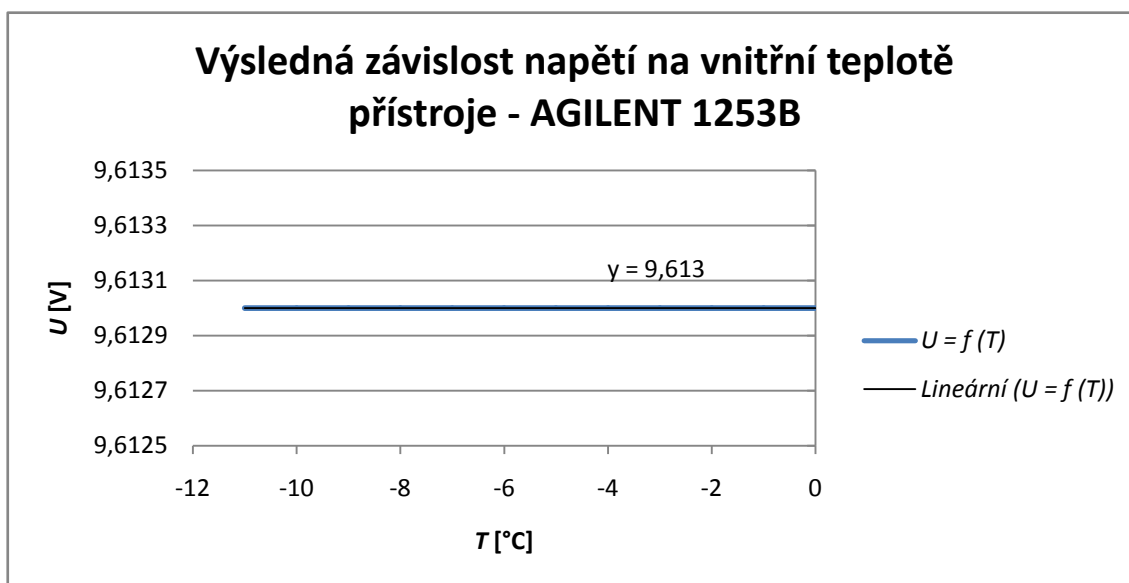


Obr. 17: Multimetr Agilent 1253B.

- Výsledné závislosti:



Obr. 18: Výsledná závislost pro kladné teploty – Agilent 1253B.



Obr. 19: Výsledná závislost pro záporné teploty – Agilent 1253B.

7.3. Metex 4650CR

- Specifikace přístroje:

Rozsah displeje: 4 ½ dig.

Provozní teplota: 0°C – 40°C

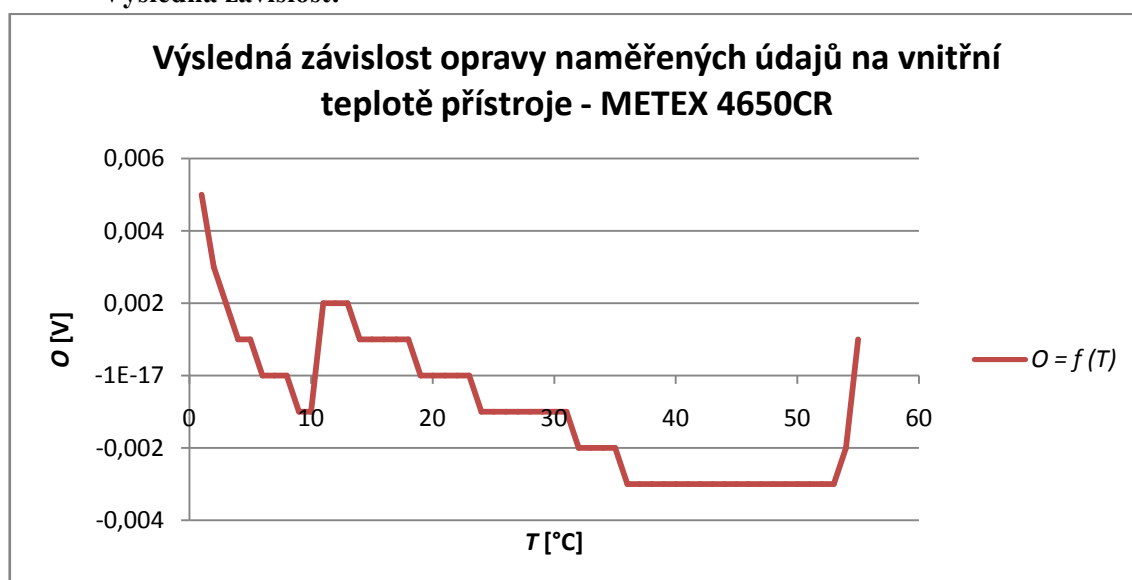
Funkce	Rozsah	Přesnost	Rozlišení
VDC	200mV	0,05% + 3D	10μV
	2V	0,05% + 3D	100μV
	20V	0,05% + 3D	1mV
	200V	0,05% + 3D	10mV
	1000V	0,1% + 5D	100mV

Tab. 3: Specifikace přístroje pro měření stejnosměrného napětí – Metex 4650CR. ^[12]

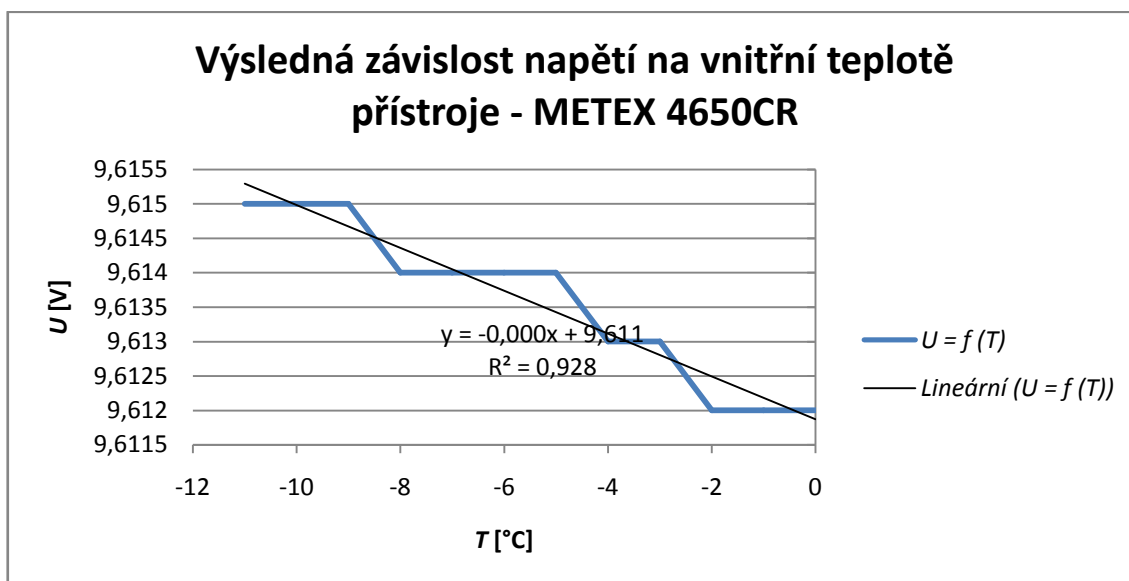


Obr. 20: Multimetr Metex 4650CR.

- Výsledná závislost:



Obr. 21: Výsledná závislost pro kladné teploty – Metex 4650CR.



Obr. 22: Výsledná závislost pro záporné teploty – Metex 4650CR.

7.4. Mastech MY68

- Specifikace přístroje:

Rozsah displeje: 3 ½ dig.

Provozní teplota: 0°C – 40°C

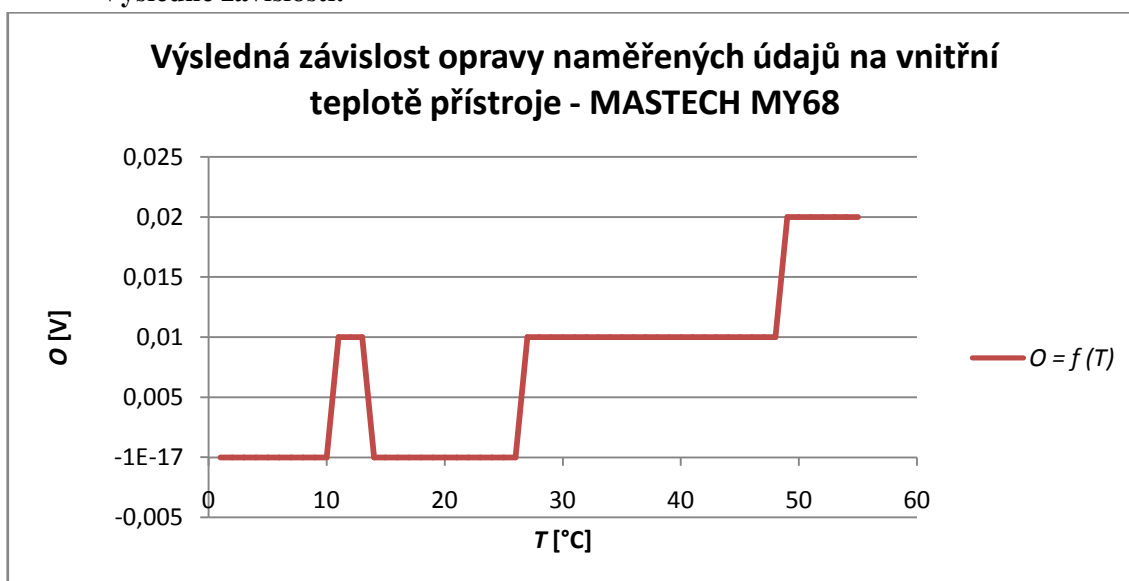
Funkce	Rozsah	Přesnost	Rozlišení
VDC	326mV	0,5% + 2D	0,1mV
	3,26V	0,3% + 2D	1mV
	32,6V	0,3% + 2D	10mV
	326V	0,3% + 2D	0,1V
	1000V	0,5% + 2D	1V

Tab. 4: Specifikace přístroje pro měření stejnosměrného napětí – Mastech MY68. ^[13]

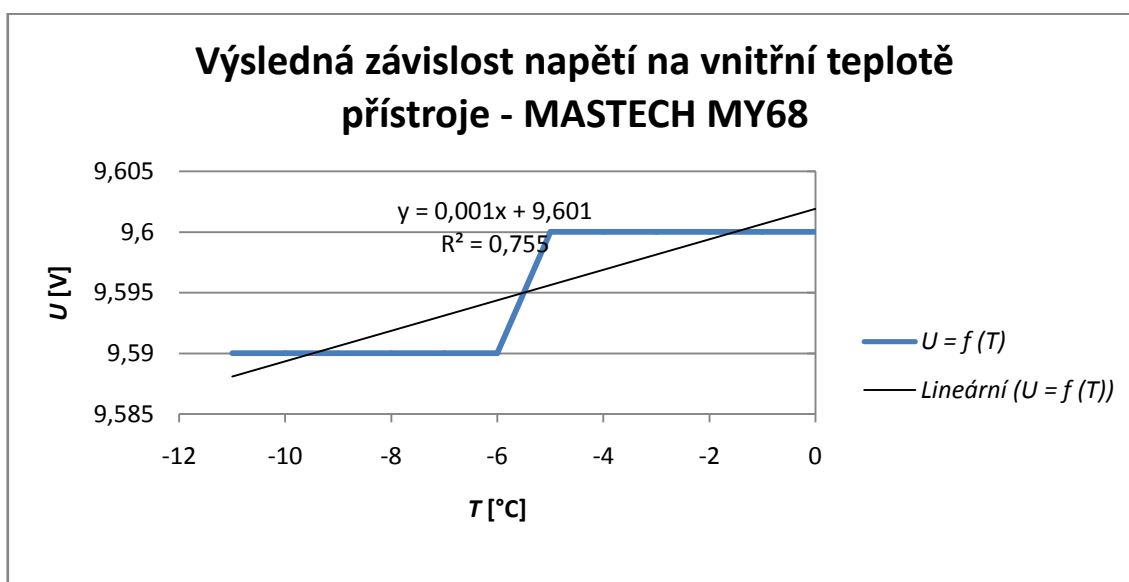


Obr. 23: Multimetr Mastech MY68.

- Výsledné závislosti:



Obr. 24: Výsledná závislost pro kladné teploty – Mastech MY68.



Obr. 25: Výsledná závislost pro záporné teploty – Mastech MY68.

7.5. Agilent 34401A

- Specifikace přístroje:

Rozsah displeje: 6 ½ dig.

Provozní teplota: 0°C – 55°C

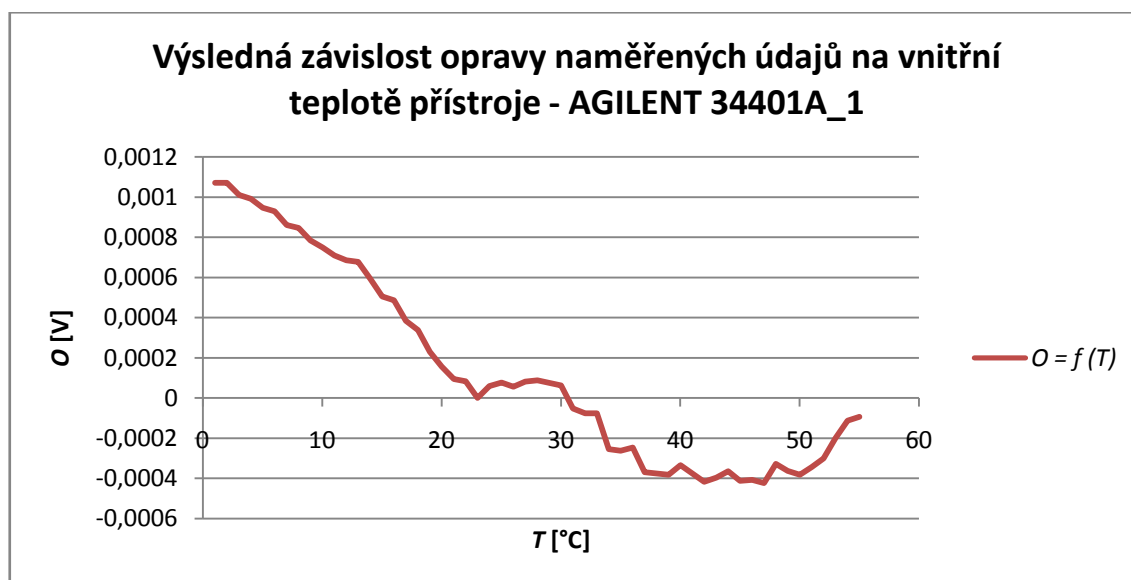
Funkce	Rozsah	Přesnost
VDC	100,0000mV	0,0050% + 0.0035%
	1,000000V	0,0040% + 0.0007%
	10,00000V	0,0035% + 0.0005%
	100,0000V	0,0045% + 0.0006%
	1000,000V	0,0045% + 0.0010%

Tab. 5: Specifikace přístroje pro měření stejnosměrného napětí – Agilent 34401A.^[14]

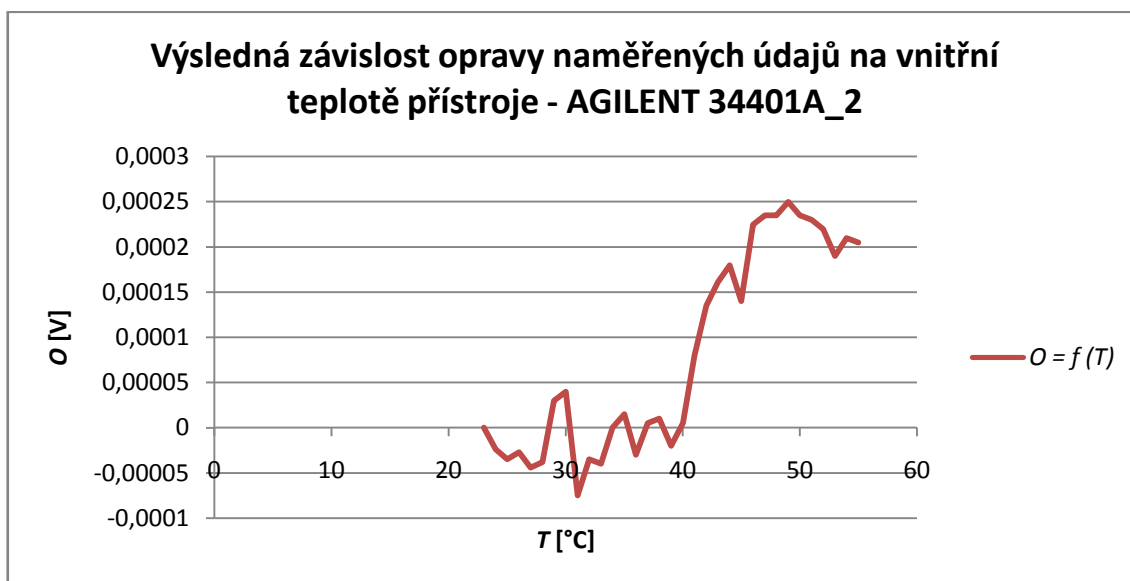


Obr. 26: Multimetr Agilent 34401A.

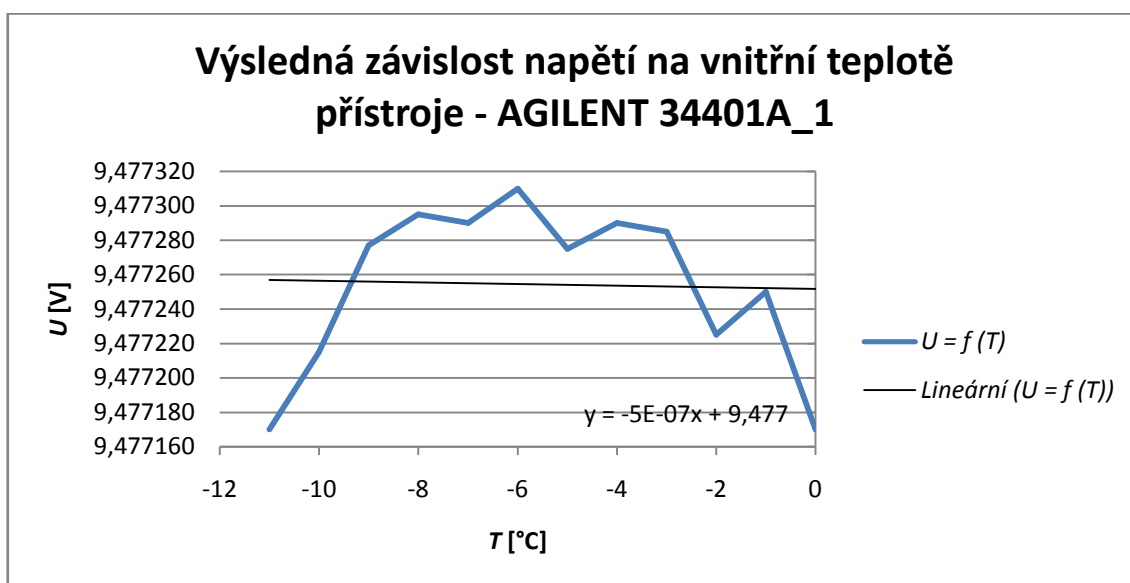
- Výsledná závislost:



Obr. 27: Výsledná závislost pro kladné teploty – Agilent 34401A_1.



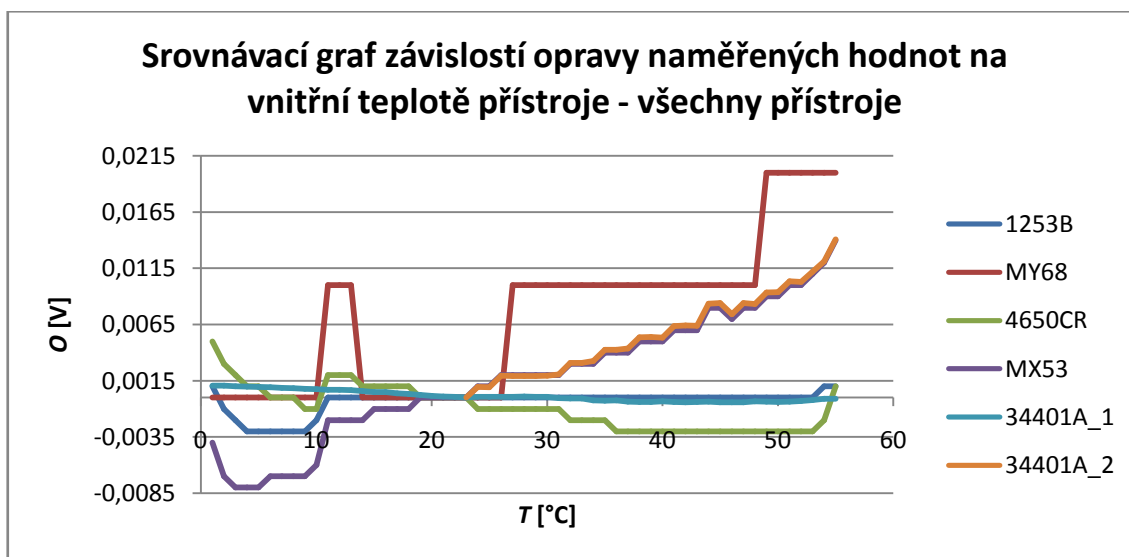
Obr. 28: Výsledná závislost pro kladné teploty – Agilent 34401A_2.



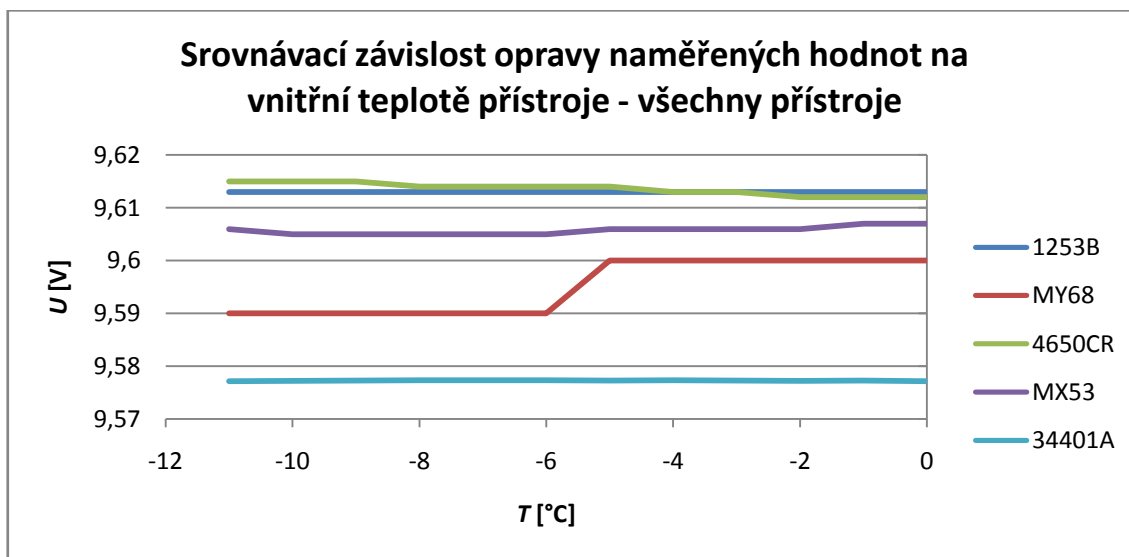
Obr. 29: Výsledná závislost pro záporné teploty – Agilent 34401A_1.

U přístroje Agilent 34401A jsou v kladném pásmu teplot uvedeny dva grafy. Je to z toho důvodu, že se v průběhu testování naskytla možnost použít i jiný přístroj totožného výrobce se stejným typovým označením za účelem porovnání chování obou přístrojů v různých teplotních podmínkách. Z technických důvodů ovšem u druhého přístroje nebylo možno proměřit celé kladné teplotní pásmo, jako u ostatních přístrojů.

7.6. Srovnání



Obr. 30: Výsledná srovnávací závislost pro kladné teploty – všechny přístroje.



Obr. 31: Výsledná srovnávací závislost pro záporné teploty – všechny přístroje.

Výsledné charakteristiky popisují chování přístrojů v různém pásmu teplot. V případě kladných popisují závislost opravy měřené hodnoty v závislosti na teplotě. Tato oprava představuje rozdíl údaje naměřeného, k údaji referenčnímu. Za ten byl dle vyjádření výrobců DMM považován údaj naměřený při teplotě 23°C. Charakteristiky záporných teplotních pásem na rozdíl od kladných tvoří závislost naměřeného napětí na teplotě. To je způsobeno nutností použití více typů zdrojů, díky kterým nebylo možno zjistit příslušnou referenční hodnotu potřebnou k vynesení oprav naměřených údajů.

8. Závěr

Hlavním cílem této bakalářské práce bylo nastínit problematiku nejistoty měření a provést praktický test na několika vybraných přístrojích v závislosti na jejich vnitřní teplotě.

Jednotlivá měření byla v rámci možností prováděna v co možná nejširším pásmu teplot. I přesto, že výrobci měřících přístrojů uvádějí jako vhodné teplotní podmínky pro správnou funkci rozsah 0 – 50°C, byly přístroje za účelem získání přesnějšího závěru testovány i v záporném teplotním pásmu.

V případě kladných teplot byly výsledné charakteristiky tvořeny jako oprava, vztažena k referenční hodnotě v závislosti na vnitřní teplotě přístroje. Jako referenční byla vybrána hodnota, která byla naměřena při teplotě 23°C. Tato hodnota byla vybrána zejména proto, že výrobci měřících přístrojů uvádějí naměřenou hodnotu při této teplotě jako nejpřesnější.

Jako nejstabilnější se ukázal kapesní číslicový multimetr Agilent 1253B. V případě měřícího přístroje Metrix MX53 chyba měřeného údaje v závislosti na teplotě úměrně rostla, naproti tomu u přístroje Metex 4650CR klesala. To mohlo být způsobeno teplotně závislými součástkami přístroje, či jinými vlivy. Ve výsledku z toho ovšem lze usoudit, že neexistuje jednoznačná závislost mezi chybou měřeného údaje a vnitřní teplotou přístroje a to jak v kladných, tak v záporných teplotních pásmech.

Součástí práce byla také tvorba měřící aplikace pro přístroje vybavené komunikačním rozhraním. Ta byla ve finální fázi přehledně vytvořena tak, aby byla schopna nejen získat vnitřní teplotu a měřený údaj testovaného přístroje, ale i analyzovat naměřená data a z nich vypočítat odchylku, či rozptyl hodnot.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] KOVAL, Ludvík. *Nejistota měření*. Ostrava, 2012. 12 s. Sylaby do předmětu Elektrická měření.
- [2] HÄBERLE, Heinz. *Průmyslová elektronika a informační technologie*. 1. vyd. Praha: Europa – Sobotáles cz, 2003. 719 s. ISBN 80-86706-04-4
- [3] CHLEBNÝ, J. *Automatizace a automatizační technika: Prostředky automatizační techniky*. 4. vyd. Brno: Computer Press, 2009. 304 s. ISBN 978-80-251-2523-6
- [4] SROVNAL, Vilém. *Elektrotechnická měření: Měřicí přístroje*. 1. vyd. Praha: Informatorium, 2008. 140 s. ISBN, 978-80-7333-062-0
- [5] HORSKÝ, Jiří, Horský, Pavel. *Digitální multimetry a nejistota měření*, Elektro – odborný časopis pro elektrotechniku. [online], [cit. 2013-26-04], Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=44143.
- [6] VLACH, J., HAVLÍČEK, J., VLACH, M., *Začínáme s LabVIEW*. 1.vyd. Praha: BEN – Technická literatura, 2008. 247 s. ISBN 978-80-7300-245-9
- [7] KLAS, Přemysl. *Softwarové aplikace pro laboratorní měření a zpracování dat v elektronice*. Ostrava, 2009. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Katedra informatiky.
- [8] Sine.ni.com [online], 2012, [cit. 2013-01-04], Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/204178>.
- [9] Sine.ni.com [online], 2012, [cit. 2013-01-06], Dostupné z: <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/cs/nid/208787>.
- [10] Dilotop.cz [online], [cit. 2013-01-04], Dostupné z: <http://diplotop.cz/314.php?k=24a67091b0490fb8d4e657cba36d5409&ID=2441441&q=METRIX%20MX%2053>.
- [11] Home.agilent.com [online], [2012-05-04], Dostupné z: <http://www.home.agilent.com/en/pd-1765026-pn-U1253B/handheld-digital-multimeter-45-digit-with-organic-led-display-oled?&cc=CZ&lc=eng>.
- [12] Rss.tul.cz [online], [2003-10-12], Dostupné z: http://www.rss.tul.cz/ftppub/mt2/multimetr_metex4650cr_specifikace.pdf.
- [13] Mastech.com [online], [2010-18-03], Dostupné z: <http://www.mastech.com.cn/down/MY68.pdf>.

[14] Cg.literature.agilent.com [online]. [2012-05-01], Dostupné z:
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/34401-90004.pdf>.

[15] Cg.literature.agilent.com [online]. [2012-05-02], Dostupné z:
<http://cp.literature.agilent.com/litweb/pdf/34410-90001.pdf>.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha I. – Zdrojový kód blokového diagramu vytvořené aplikace

Příloha II. – Vytvořená měřicí aplikace v LabVIEW

Příloha III. – Podklady k výsledným charakteristikám